国家沙漠(石漠)公园空间分异格局与影响因素

慕石雷[1]， 杨玉欢[2]， 乌日陶克套胡[1]

(1. 内蒙古师范大学民族学人类学学院,内蒙古 呼和浩特 010022；
2. 西北大学城市与环境学院,陕西 西安 710127)

摘 要：以国家林业和草原局发布的125处国家沙漠(石漠)公园名录数据,综合采用空间分析、地理探测器和地理加权回归等方法,探测国家沙漠(石漠)公园的空间分异特征和影响因素。结果表明:(1) 国家沙漠(石漠)公园在区域上"北多南少",建设时序上"先北后南"。(2) 国家沙漠(石漠)公园的最邻近指数为0.537,呈显著集聚分布特征,但集聚尺度和集聚规模差异显著。(3) 国家沙漠(石漠)公园空间上呈现"南疏北密、双核一带"的格局,空间分异特征显著。(4) 国家沙漠(石漠)公园空间分异的自然地理因素比人文因素的解释力更强,自然地理与人文交互作用效果显著强于各自内部交互作用。(5) 6个最佳作用因子对国家沙漠(石漠)公园空间分异的作用强度自东南向西北呈现正效应不断提高、负效应持续下降的变化趋势,西北地区受自然地理和人文的作用力最强。

关 键 词：空间分异；地理探测器；地理加权回归；国家沙漠(石漠)公园

文章编号：1000－6060(2024)02－0356－13(0356～0368)

中国是世界上土地沙化最严重的国家之一,现有沙化土地面积 1.72×10^{8} hm^2,占国土面积的17.93%,也是我国生态环境最脆弱的地区[1-2]。沙漠(石漠)具有巨大的资源优势和生态功能,积极建设独具特色的国家沙漠(石漠)公园是一项造福人类的伟大工程[3]。沙漠(石漠)公园是以沙漠(岩溶)景观为主体,以保护荒漠(岩溶)生态系统和生态功能为核心,合理利用自然与人文景观资源,开展生态保护及植被恢复、科研监测、宣传教育、生态旅游等活动的特定区域[4]。沙漠(石漠)公园建设对创新治沙新模式、促进区域经济高质量发展具有积极意义,对建设人与自然和谐共生的现代化也具有重要时代意义。

国内外社会对沙漠(石漠)公园建设高度关注。在国际方面,1994年6月17日,在法国巴黎通过的《联合国防治荒漠化公约》,推动了全球荒漠化治理工作。其中,建设沙漠(石漠)公园成为国际上有效的防治荒漠化举措之一[5]。国外学者多关注在沙漠(石漠)公园的需求功能[6]、植物群落与环境相关性[7]、植被与环境关系[8]、放牧对植被的影响[9]、植物群落和多样性评估[10]等方面。在国内方面,2013年1月,首次提出"有条件的地方建设沙漠(石漠)公园,发展沙漠景观旅游"[2]。2019年6月,国家将自然保护地按生态价值和保护强度高低依次分为国家公园、自然保护区和自然公园3类。其中,自然公园包括森林、湿地、地质、沙漠等公园[11]。2021年3月,"十四五"规划提出构建以国家公园为主体、自然保护区为基础、各类自然公园为补充的自然保护地体系[12]。建设国家沙漠(石漠)公园是建立国家公园体制的重要内容之一,本质上是为了更有成效地促进沙漠(石漠)治理工作。国内学者对森林公园[13]、湿地公园[14]、地质公园[15]等自然公园空间分布格局的研究较多,但对背后形成的影响机制探究较少,分析工具也仅有叠加分析、缓冲区分析等。

收稿日期：2022-10-23； **修订日期**：2023-02-16
基金项目：国家社会科学基金项目(20XMZ060)；内蒙古自治区2023年研究生科研创新项目(B20231052Z)；内蒙古师范大学基本科研业务费专项资金资助(2022JBXC010)
作者简介：慕石雷(1983-),男,博士研究生,主要从事民族经济、资源与环境经济研究. E-mail: mushilei123@163.com
通讯作者：杨玉欢(1999-),男,硕士研究生,主要从事城市与区域发展研究. E-mail: yang-yuhuan@foxmail.com

在沙漠(石漠)公园研究方面,学者在开发思路[16]、规划构想[17]、建设做法与启示[6]、旅游承载能力[18]、旅游环境评价体系[19]等多方面展开探讨。但目前,学者仅对石漠公园分布[20]进行研究,对沙漠公园的空间结构,尚未引起足够关注,更鲜有研究对其影响因素的关联性进行深入探讨。有鉴于此,本文选取国家林业和草原局发布的125处国家沙漠(石漠)公园名录数据,以国家沙漠(石漠)公园所在的63个地级城市为研究区域,综合运用空间分析、地理探测器和地理加权回归等方法,探测国家沙漠(石漠)公园的空间分异特征及影响因素,以期为国家沙漠(石漠)公园合理布局和可持续发展提供一定的借鉴和参考,为推动新时代我国旅游业高质量发展提供理论指导,为全球沙化治理贡献中国经验和中国模式。

1　数据与方法

1.1　研究区概况

我国的沙化土地主要介于35°~50°N、75°~125°E之间的内陆盆地和高原地区,集中在西起塔里木盆地,东至松嫩平原西部,范围涉及干旱、半干旱地区[21],可积极推进国家沙漠公园建设。南方熔岩地区分布有丰富的喀斯特地貌和生物景观资源,可积极探索建设国家石漠公园[2]。本文选取2013—2020年125处国家沙漠(石漠)公园所在的15个省(区)63个地级城市为研究区域。

1.2　数据来源

本文国家沙漠(石漠)公园名录数据来源于国家林业和草原局(http://www.isenlin.cn),解释国家沙漠(石漠)公园空间分异的自然地理因素中的气温数据来源于国家气象科学数据中心(https://data.cma.cn),砂土含量、降水量、植被覆盖指数、地形起伏度、高程数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn)。人文因素中的数据来源于各城市《2020年国民经济和社会发展统计公报》。此外,支撑研究的125处国家沙漠(石漠)公园所在的15个省(区)63个城市的行政区划界线来源于自然资源部标准地图服务系统(http://bzdt.ch.mnr.gov.cn)下载的审图号为GS(2019)1823号标准地图。

1.3　研究方法

1.3.1　最邻近指数　最邻近指数是实际最邻近距离与理论最邻近距离相比[22],计算方法:

$$N=\frac{\overline{n_0}}{\overline{n_E}} \tag{1}$$

式中:N为最邻近指数;$\overline{n_0}$为实际最邻近点之间距离n_0的平均值;$\overline{n_E}$为理论最邻近平均距离。$N>1$呈均匀分布,$N<1$呈集聚分布,$N=1$呈随机分布。

1.3.2　多距离空间聚类分析(Ripley's *K*函数)　Ripley's *K*函数由Ripley在1977年提出的对点数据集进行不同距离的聚类程度分析,反映要素的空间聚集或离散的程度[23-24],公式为:

$$K(d)=\frac{A}{n^2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}(d),\quad i\neq j \tag{2}$$

$$L(d)=\sqrt{\frac{K(d)}{\pi}}-d \tag{3}$$

式中:A为研究区面积;n为国家沙漠(石漠)公园数量;$w_{ij}(d)$为在距离d范围内的点i与j之间距离d_{ij}的虚拟变量,$w_{ij}(d)=1$($d_{ij}\leq d$)或当$w_{ij}(d)=0$($d_{ij}>d$);为使得$K(d)$线性化并使方差保持稳定,Besag提出$L(d)$取代$K(d)$,并建议采用蒙特卡洛模拟来实现L函数估计的假设检验;设定置信度为99%,由$L(d)$与Diff K的函数关系图可分析、检验多尺度国家沙漠(石漠)公园的空间分布格局。若$L(d)>0$表示呈空间聚集分布态势,$L(d)<0$表示呈空间均匀分布态势,$L(d)=0$表示呈空间随机分布态势。

1.3.3　核密度估计　核密度估计是指用点聚集程度描述在不同空间区域位置上发生地理事件概率大小[25],计算公式为:

$$g_n(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}k\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \tag{4}$$

式中:$k(*)$为核函数;$h>0$为带宽;n为国家沙漠(石漠)公园数量;$x-X_i$为估值点x到沙漠(石漠)公园点X_i的距离。

1.3.4　地理探测器　地理探测器是探测空间分异格局及影响机制的一种分析工具。本文采用分异探测国家(石漠)公园空间分异影响因子的解释力大小,交互探测识别不同因子间交互作用的影响力强弱,具体见参考文献[26]。

1.3.5　地理加权回归　地理加权回归(Geographically weighted regression,GWR)是Brunsdon等1996年提出的将空间关系异质性和多相性纳入回归分析方法[27]。它引入对不同区域的影响因素进行估计,能够有效捕获各要素对国家沙漠(石漠)公园的非平稳影响,描述变量关系随空间变化的特征。本文

采用GWR模型探测国家沙漠(石漠)公园空间分异影响因子在局部空间上的作用特征[28],公式为:

$$y_i=\beta_0(u_i,v_i)+\sum_{k=1}^{p}\beta_k(u_i,v_i)X_{ik}+\varepsilon_i \tag{5}$$

式中:i 为观测单位数;(u_i,v_i) 为第 i 个样本观测的地理中心坐标;参数 β 是 u_i 和 v_i 的函数,即任何一个具体空间位置的估计参数β是通过局域估计获得的,它随着空间地理位置的不同而变化;X_{ik} (k =1, 2, ⋯, 5)为 i 城市的自变量解释值;$\beta_k(u_i,v_i)$ 为位置 i 第 k 个变量的回归参数;$\beta_0(u_i,v_i)$ 、ε_i 分别为位置 i 的截距项和随机误差项。

2 结果与分析

2.1 空间分布差异

自2013—2020年共发布6批次125处,其中2013—2014年为第1批,共建立10处。2013年在宁夏中卫沙坡头设立全国第一个国家沙漠公园。2015年第2批45处,2016年第3批15处,2017年第4批33处,2018年第5批17处,2020年第6批5处(图1),涉及新疆、内蒙古、陕西、甘肃、青海、宁夏、湖南、云南等15个省(区)。在全国尺度上,呈现"北多南少"格局。北方数量达98处,占整个沙漠(石漠)公园的78.40%;而南方仅有27处,占比为21.60%。在省域尺度上,呈现"西多东少"格局。新疆一家独大,达36处,占比28.80%,比并列第2位的内蒙古和湖南总和还要多;山西、青海和甘肃紧随其后,数量差距不大,各省占比8.80%~9.60%;其余省份数量较少,占比均不超过5%。在地市尺度上,呈现"少聚多散"。在63个地级城市中只有少部分处于空间聚集格局,昌吉回族自治州最多,有9处,其次是大同市8处,巴音郭楞蒙古自治州7处;多数处于空间分散格局,超过一半多达35个地级市仅有1处,近80%的地级市不超过2处。国家沙漠(石漠)公园在全国、省、市3个空间尺度的分布表现出对自然地理条件的严重依赖。因国家沙漠(石漠)公园的遴选标准要求面积原则上不低于200 hm²,公园中沙化土地面积一般应占公园总面积的60%以上[4]。巨大的沙漠(石漠)面积为国家沙漠(石漠)公园的创建提供了自然条件。从建设时序上看,北方早于南方、沙漠公园的建设先于石漠公园。宁夏、新疆在2013、2014年率先开展国家沙漠公园试点建设,



图1 国家沙漠(石漠)公园分布

Fig. 1 Distribution of national desert (rocky desert) parks

随后在陕西、陕西、青海、内蒙古、甘肃、辽宁广泛推广，而石漠公园建设发轫于2015年，于2016年才大规模建设。

2.2 空间分布类型

使用ArcGIS 10.6软件中最邻近距离工具对国家沙漠(石漠)公园进行运算分析，得到总体及各批次平均最邻近指数(Average nearest neighbor index, ANN)(表1)。国家沙漠(石漠)公园除第3批和第5批未通过显著性检验外，剩余批次及第1~6批总体的|*Z*-score|>2.58，*P*-value<0.01，通过99.99%的置信度检验，全国尺度下表现出聚集或均匀分布格局，其存在形式在空间上表现出一定的规律性。总体上，125处国家沙漠(石漠)公园ANN为0.537，在空间分布上呈显著集聚分布特征。国家沙漠(石漠)公园各批次差异显著，其中第1批与第6批ANN分别为1.556、1.804，在空间分布上呈现均匀分布格局。第2批与第4批ANN分别为0.642、0.730，在空间上呈显著集聚分布态势。

2.3 空间集聚特征

采用Ripley's *K*函数，对不同批次国家沙漠(石漠)公园分布的空间格局特征进行分析(图2)。从集聚尺度来看，依次为：第5批(800 km)=第2批(800 km)>第1~6批(700 km)>第4批(600 km)>第3批(500 km)>第1批(300 km)，表明第5批在100~800 km、第2批在100~800 km、第1~6批在100~700 km、第4批在100~600 km、第3批在100~500 km和第1批在100~300 km范围内均表现出集聚分布特征，但随着空间尺度增大，开始呈现随机分布特征。从集聚规模来看，依次为：第5批(292015)>第3批(277243)>第2批(153441)>第1~6批(146415)>第4批(98760)>第1批(44572)，集聚强度差异显著，其中第5批最大，第1批最小，两者相差近7倍。整体而言，由于国家沙漠(石漠)公园的建设时序上历经了分散试点、集中建设、补缺完善的3个阶段，第1~5批集聚尺度和集聚规模均呈现"升-降-升"的"N"型特征，第6批Diff *K*值在任何尺度均小于0，呈现绝对的空间随机分布。

2.4 空间密度特征

2.4.1 总体密度特征 核密度分析表明，国家沙漠(石漠)公园空间上呈现"南疏北密、双核一带"的格局(图3)。双核为2个高密度核心区，一个是以新疆干旱沙区古尔班通古特沙漠为核心，另一个是以湖南溶丘洼地(槽谷)石漠化区为核心。一带为沿长城东西走向断续弧形沙漠带，以半干旱沙区的科尔沁沙地、浑善达克沙地、毛乌素沙地和干旱沙区库布齐沙漠、乌兰布和沙漠、腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠、河西走廊沙漠、柴达木盆地沙漠等分布带。国家沙漠公园的总体分布特征明显体现出对自然地理的高度依赖性，但国家石漠公园的高密度核心区在湖南，还与其人文因素相关。

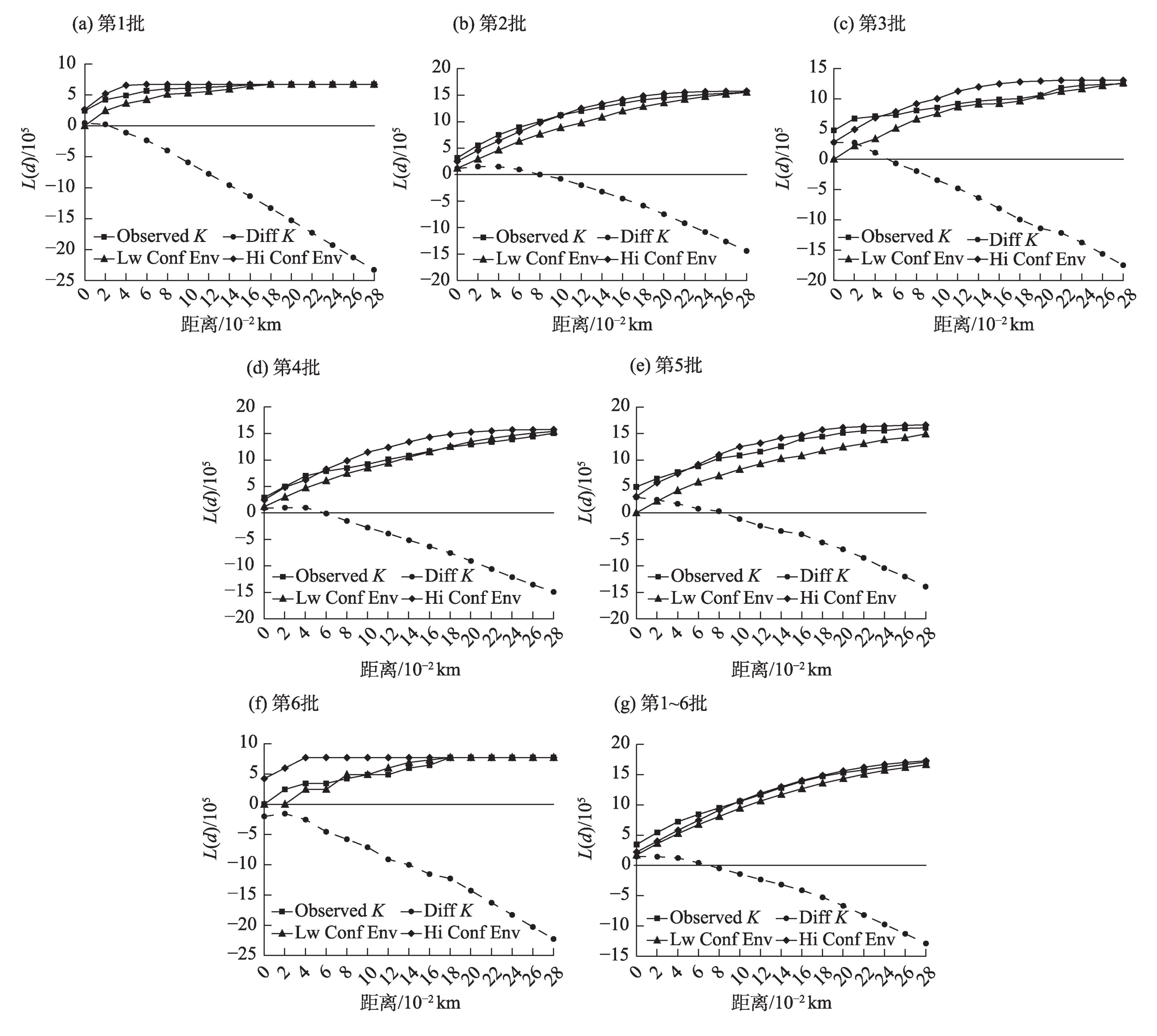
2.4.2 各批次密度特征 如图4所示，不同批次的国家沙漠(石漠)公园有不同的集聚区域。第1批以新疆北部地区分布最为密集，在新疆古尔班通古特沙漠和塔克拉玛干沙漠地区以块状分布；第2批除在晋蒙陕宁五省区交界的毛乌素沙地和青甘两省交界的柴达木盆地沙漠形成高密度分布外，在新疆北部和西部，蒙辽两省区交界呈块状集中分布；第3批在晋冀蒙三省区交界的浑善达克沙地形成高密度分布，在新疆北部形成次密度分布；第4批在新疆古尔班通古特沙漠和湖南岩溶槽谷石漠化区、溶丘洼地(槽谷)石漠化区形成高密度分布，在内蒙古毛乌素沙地形成次密度分布；第5批在湖南峰林平原石漠化区形成高密度分布，在甘-青-蒙交界集中分布，在滇东南、疆西南呈点状分布；第6批在巴丹吉林沙漠形成高密度核心分布区，在湘-鄂-赣、粤-湘-赣、滇-黔-桂交界地带形成3个次密度核心分布区。国家沙漠(石漠)公园各批次密度变化的趋势表现在建设范围上从西向东、由北向南，时序上历经分散试点、集中建设、补缺完善3个阶段。演化规律受到资源禀赋和经济发展水平的限制，大部分省

表1 国家沙漠(石漠)公园最邻近点指数

Tab. 1 Index of nearest points of national desert (rocky desert) parks

指标	第1批	第2批	第3批	第4批	第5批	第6批	第1~6批
ANN	1.556	0.642	0.829	0.730	0.839	1.804	0.537
Z-score	3.366	−4.481	−1.266	−2.969	−1.340	3.439	−10.016
P-value	0.000	0.000	0.206	0.002	0.180	0.000	0.000

注：ANN为最邻近指数；*Z*-score为标准分数；*P*-value为置信度。



注：Observed K为观测值；Diff K为微分值；Lw Conf Env为下包迹线；Hi Conf Env为上包迹线。

图2 国家沙漠(石漠)公园各批次及总体Ripley's K函数曲线

Fig. 2 Ripley's K function curve of each batch and overall in national desert (rocky desert) parks

区表现为逐批增强的演化规律。新疆、内蒙古、甘肃、青海等省区地处西北内陆，沙漠面积分布广泛且集中。湖南一直积极应对石漠化挑战，一是政府重视、二是资金支持、三是农旅融合，实现了生态与经济双赢。

2.5 国家沙漠(石漠)公园空间分异的影响因素

国家沙漠(石漠)公园的形成与空间分异特征是长期以来自然演化和人地系统相互交织作用的结果，反映出对自然地理和人文因素的依赖。借鉴已有湿地公园、森林公园、地质公园等自然公园空间分布影响因素相关指标选择的研究成果，以气温[29]、砂土含量、降水量[13]、植被覆盖指数、地形起伏度[15]和高程[13,29]6个因子表征自然因素，以人均GDP[29-32]、城镇化率、接待游客人次[14,30-32]、旅游总收入[14,30,32]、A级景区数量[13,32]、星级酒店数量[31]、旅行社数量、公路总里程[29,31-32]、在校生人数和专利授权数10个因子表征人文因素(表2)。分别利用分异和交互探测不同驱动因子对国家沙漠(石漠)公园空间分布分异的影响强度，并选择分异和交互作用最强的6个影响因子，进一步测度其对国家沙漠(石漠)公园空间分异的作用方向。

2.5.1 分异探测分析 因子探测结果表明(表2)，16个影响因子全部通过99.99%的置信度检验($P<0.001$)，各因子对国家沙漠(石漠)公园空间分异均

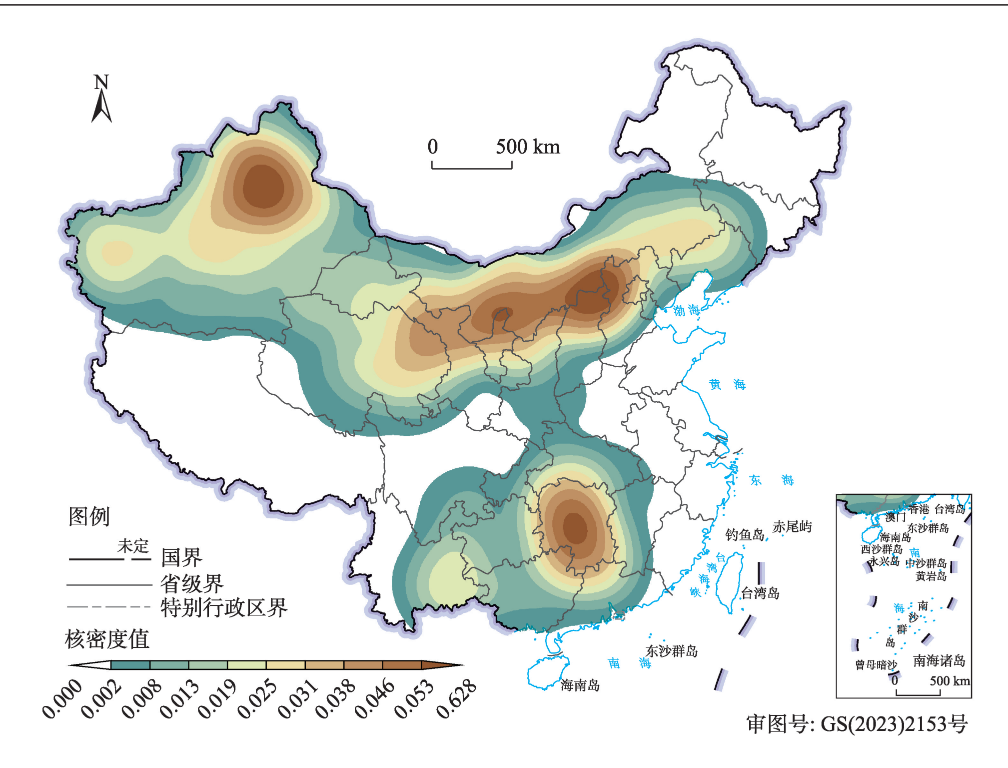


图3 国家沙漠(石漠)公园核密度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of kernel density in national desert (rocky desert) parks

存在一定的解释力(q),但差异显著。驱动力因子强弱排序为:气温(X_1)>砂土含量(X_2)>星级酒店数量(X_{12})>降水量(X_3)>接待游客人次(X_9)>城镇化率(X_8)>旅游总收入(X_{10})>植被覆盖指数(X_4)>公路总里程(X_{14})>旅行社数量(X_{13})>人均GDP(X_7)>地形起伏度(X_5)>在校生人数(X_{15})>高程(X_6)>A级景区数量(X_{11})=专利授权数(X_{16})。驱动力最强的两因子均为自然地理因素,整体上自然地理比人文因素的驱动力更强。

(1) 自然地理因素

沙漠是地球上的一种自然现象,自然地理环境为国家沙漠(石漠)公园的形成、分布提供基础性支撑作用。从表2可以看出,6个自然地理因子对国家沙漠(石漠)公园空间分异的解释力强弱排序为:X_1(0.319)>X_2(0.269)>X_3(0.172)>X_4(0.115)>X_5(0.072)>X_6(0.058)。其中影响力最强的是气温,因为国家沙漠(石漠)公园所在的区域气候特征一般是干旱少雨、冷热温差变化大[2]。其次为砂土含量,土壤的砂土含量越高,渗水速度越快,保水性能更差,更易于形成沙漠(石漠)地貌。因此砂土含量成为沙漠(石漠)公园形成的重要条件。降水量和植被覆盖指数也是驱动力较强的自然地理因子。其中,建设国家沙漠(石漠)公园要具备区域内降水能够保证生态和其他用水需求这一基本条件,地表较低的植被覆盖率是沙漠形成的重要原因,降水量、植被覆盖指数与国家沙漠(石漠)公园总体上呈负相关。地形起伏度和高程的q<0.1,对国家沙漠(石漠)公园空间分异的影响较弱。

(2) 人文因素

沙区、石漠化区不仅是我国多民族聚居区,也是我国重要的边防区,同时还是我国重要的能源、冶金、重化工基地[2],因此开展国家沙漠(石漠)公园建设,为解决沙区生态保护和经济发展的矛盾提供了一条新的道路[5],成为国家沙漠(石漠)公园空间分异的导向性驱动作用。人文因素对国家沙漠(石漠)公园空间分异的解释力强弱排序为:X_{12}(0.173)>X_9(0.162)>X_8(0.148)>X_{10}(0.116)>X_{14}(0.089)>X_{13}(0.080)>X_7(0.077)>X_{15}(0.072)>X_{11}(0.046)=X_{16}(0.046)。其中作为旅游产业潜力因素的星级酒店数量和旅游发展水平因素的接待游客人次对国家沙漠(石漠)公园的空间分异影响最大,沙漠旅游是独特的自然地貌景观与市场经济结合的产物,成为现今五大时尚旅游产业之一[33],国家沙漠(石漠)公园作为沙漠旅游胜地,其所在地区的旅游产业配套设施和游客接待

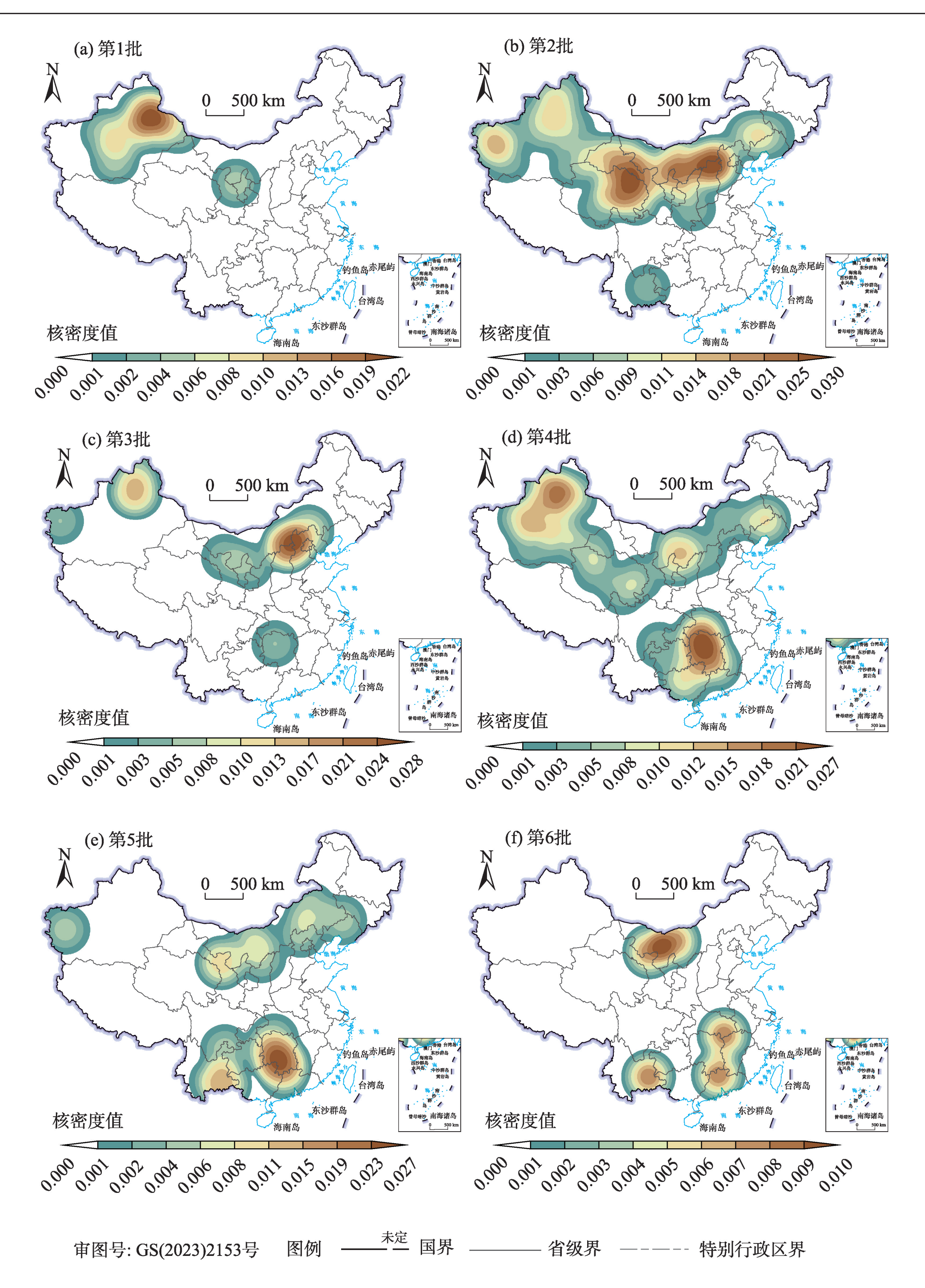


图4 国家沙漠(石漠)公园各批次核密度空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of kernel density of each batch in national desert (rocky desert) parks

能力直接决定着当地沙漠(石漠)公园的数量和发展潜力。经济因素对国家沙漠(石漠)公园空间分异的影响力也较强,城镇化率和人均GDP越高的地区越有利开展对沙漠(石漠)公园的保护和开发工作,如国家石漠公园数量、面积均居全国第一的湖南,旅游收入也位于全国前列,也是国家石漠公园集聚的地区。公路总里程、在校生人数和专利授权数的因子影响力虽然较小,但也非常重要,交通网的发达程度直接关系到景区交通便捷度,游客旅游的美好体验多是建立在交通畅通之上[32],人才和科

表2　国家沙漠(石漠)公园空间分布影响因素、因子解释力与分异探测结果

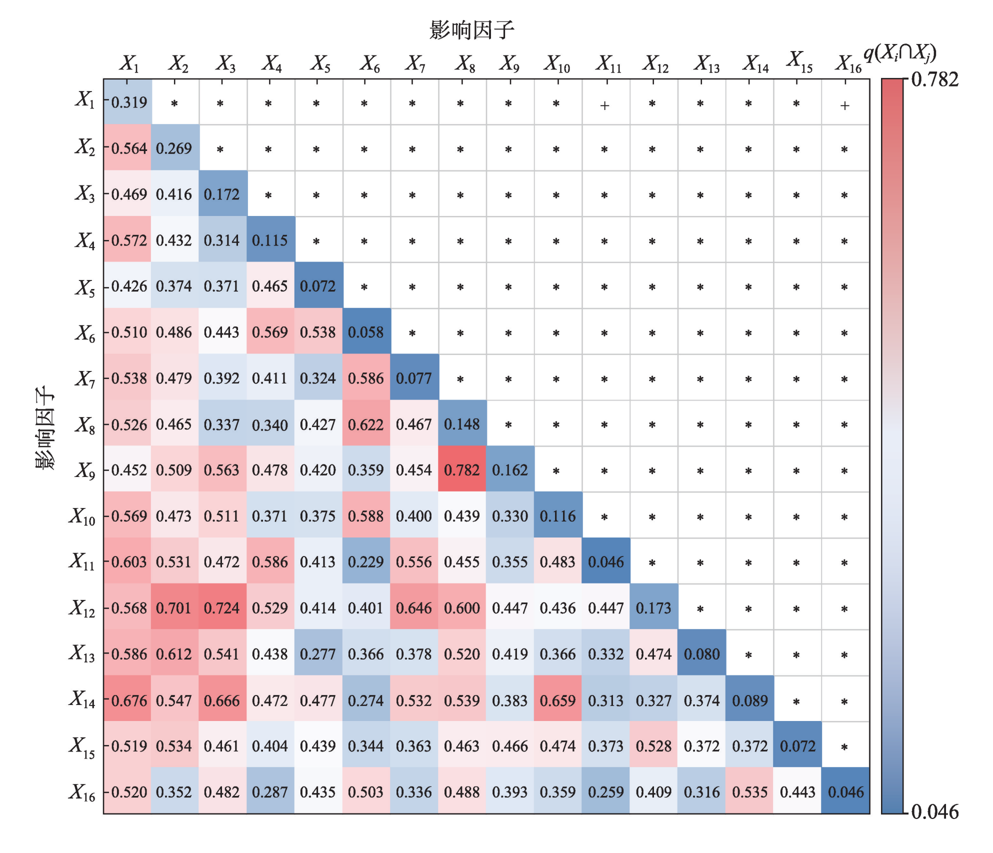
Tab. 2　Factors affecting the spatial distribution of national desert (rocky desert) parks, factor interpretation and differentiation detection results

影响因素	因子	单位	q
自然地理	气温(X_1)	℃	0.319***
	砂土含量(X_2)	%	0.269***
	降水量(X_3)	mm	0.172***
	植被覆盖指数(X_4)	–	0.115***
	地形起伏度(X_5)	m	0.072***
	高程(X_6)	m	0.058***
人文	人均GDP(X_7)	元	0.077***
	城镇化率(X_8)	%	0.148***
	接待游客人次(X_9)	10^4人次	0.162***
	旅游总收入(X_{10})	10^8元	0.116***
	A级景区数量(X_{11})	个	0.046***
	星级酒店数量(X_{12})	家	0.173***
	旅行社数量(X_{13})	家	0.080***
	公路总里程(X_{14})	km	0.089***
	在校生人数(X_{15})	人	0.072***
	专利授权数(X_{16})	件	0.046***

注：q为解释力，用于度量空间分异性、探测解释因子；***为1%的显著性水平。

技创新使沙漠旅游产品展示更丰富[34]。

2.5.2　交互探测分析　利用地理探测器的交互探测，得到的结果为非线性增强或双因子增强2种类型(图5)。国家沙漠(石漠)公园空间分异是多因素互耦互馈作用产生的复杂现象，并且2种因素共同作用在大多数情况下要强于两单因子作用强度之和。交互探测结果排在前6的组合为：$X_8 \cap X_9$(0.782)、$X_3 \cap X_{12}$(0.724)、$X_2 \cap X_{12}$(0.701)、$X_1 \cap X_{14}$(0.676)、$X_3 \cap X_{14}$(0.666)、$X_{10} \cap X_{14}$(0.659)。整体上，自然地理因子交互作用要显著强于人文因子，但自然地理与人文交互作用显著强于自然地理和人文各自内部交互作用的强度，表明国家沙漠(石漠)公园的形成是长期以来自然演化和人地系统相互交织作用的结果。其中，气温和星级酒店数量分别为自然地理和人文最强的交互因子。一方面，沙漠(石漠)形成演化与气温环境的变化息息相关[35]。同时，以星级酒店为支撑的旅游配套设施，能极大增加游客的旅游体验水平，促进沙漠旅游的可持续发展[36]。



注：X_1~X_{16}含义见表2；*表示非线性增强，$q(X_i \cap X_j) > X_i + X_j$；+表示双因子交互增强，$q(X_i \cap X_j) > \mathrm{Max}(X_i, X_j)$。

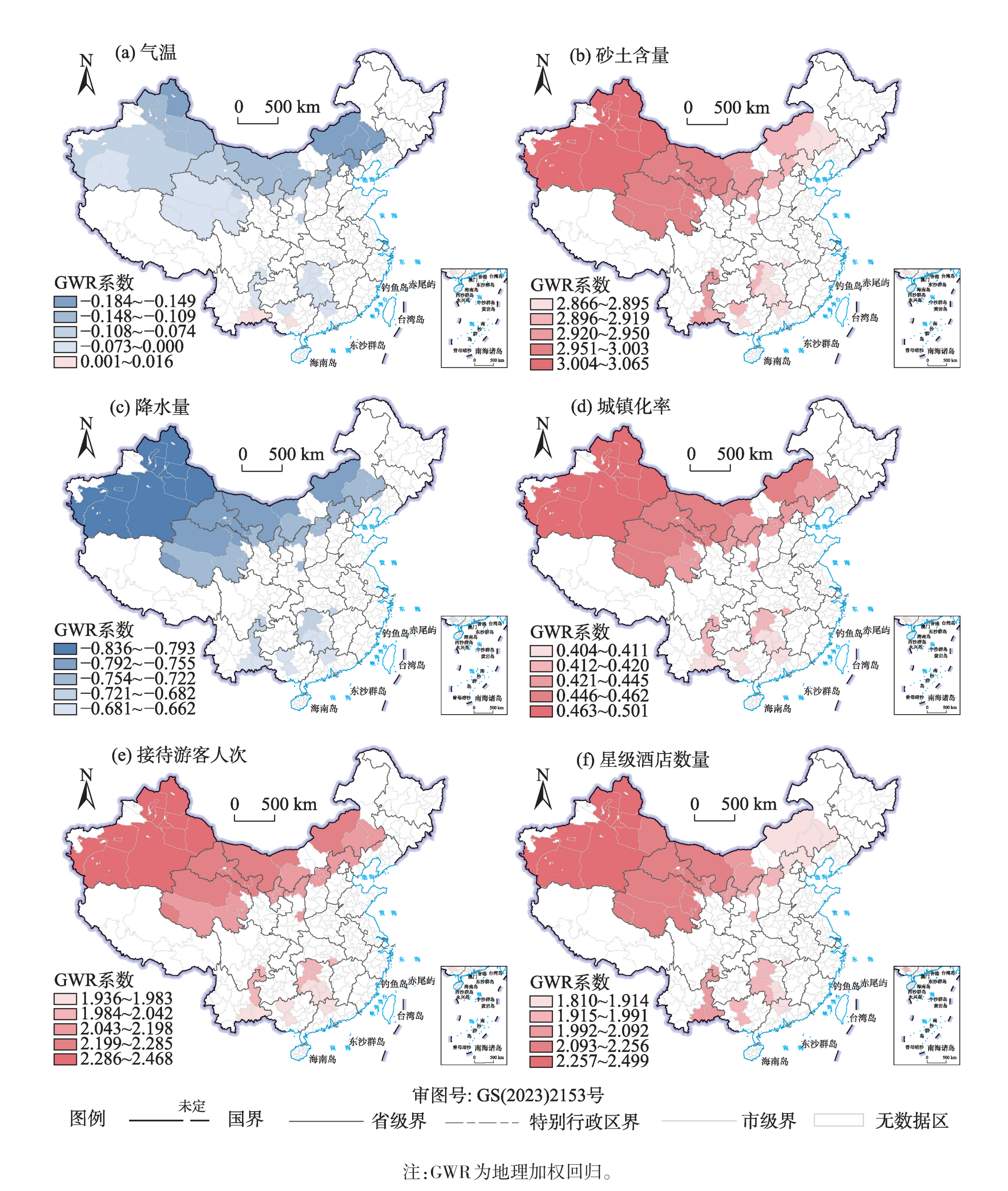
图5　国家沙漠(石漠)公园空间分异影响因子间交互探测结果

Fig. 5　Detection results of interaction among influencing factors of spatial distribution of national desert (rocky desert) parks

2.5.3 地理加权回归结果分析 国家沙漠(石漠)公园影响因素解释力排名前6强的因子为:X_1、X_2、X_{12}、X_3、X_9、X_8,同时也是交互作用中最佳的交互因子。针对该6个因子进行地理加权回归模型拟合,通过回归系数来分析影响因子作用方向和强度的空间差异(图6)。

(1) X_2、X_8、X_9和X_{12}回归系数整体上为正,对国家沙漠(石漠)公园分异起到增强的正效应;X_1和X_3的回归系数整体上为负,对国家沙漠(石漠)公园分异起到了抑制的负效应。总体上看,各因子在空间上对国家沙漠(石漠)公园分异的作用强度从东南向西北呈现正效应不断提高、负效应持续下降的变化趋势,西北地区受自然地理和人文的作用力最强。

(2) 自然地理因子方面,X_1和X_3回归系数为负,对国家沙漠(石漠)公园分异起到了显著的负效应,X_2回归系数为正,具有显著的正效应。其中,气温的负效应在空间由南至北逐级递减,在阿勒泰地区、锡林郭勒盟、赤峰市、通辽市、承德市的负效应最显



注:GWR为地理加权回归。

图6 国家沙漠(石漠)公园影响因子回归系数分布

Fig. 6 Regression coefficient distribution of influencing factors of national desert (rocky desert) parks

著。降水量的负效应和砂土含量的正效应呈“东南—西北”递增趋势，在新疆除了克孜勒苏柯尔克孜自治州、伊犁哈萨克自治州博尔塔拉蒙古自治州外，其余11个地(州、市)效应均最显著。

(3) 人文因子方面，X_8、X_9和X_{12}回归系数均为正，对国家沙漠(石漠)公园空间分异均起到增强的正效应。城镇化水平越高的地区，交通、住宿等基础设施越完善，对游客的吸引力也越高，旅游的发展潜力也越大。特别是在浑善达克沙地的锡林郭勒盟，巴丹吉林沙漠的阿拉善盟、张掖市，柴达木盆地沙漠的海西蒙古族藏族自治州、黄南藏族自治州、海南藏族自治州，塔克拉玛干沙漠的巴音郭楞蒙古自治州、阿克苏地区、喀什地区、和田地区，古尔班通古特沙漠的昌吉回族自治州等地级城市影响显著。接待游客人次作为衡量旅游发展水平的重要指标，反映了当地旅游业高质量发展状况。对国家沙漠(石漠)公园分异的影响效应与城镇化率的作用方向基本一致，影响的地级城市范围也大致相当，但比城镇化的系数回归要大，影响的强度更大。星级酒店作为旅游产业潜力的重要支柱，也是城市形象展示的重要窗口，反映了城市接待能力的高低。其回归系数比接待游客人次的影响强度要低，并且在西北地区的新疆、青海、甘肃、内蒙古西部等地级城市影响强度差别不大。总之，人文因子主要与旅游产业发展水平相关，对国家沙漠(石漠)公园空间分异的增强正效应表现明显。

3 结论与建议

3.1 结论

本文综合运用最邻近点指数、多距离空间聚类分析、核密度估计、地理探测器和地理加权回归等方法客观描述了国家沙漠(石漠)公园的空间分异特征及影响因素，得出以下结论：

(1) 国家沙漠(石漠)公园空间分布地区差异显著，在区域分布上，北方多，南方少；在省域分布上，新疆数量最多，陕西、广西、广东、四川、湖北五省区的沙漠(石漠)公园最少；建设时序上，北方地区国家沙漠公园先于南部地区国家石漠公园建设。

(2) 在空间分布上，125处国家沙漠(石漠)公园的最邻近指数为0.537，在空间分布上呈显著集聚分布特征。在各批次上存在明显差异，其中第1批和第6批在空间分布上呈现显著均匀分布，第2批和第4批在空间分布上呈显著集聚分布，第3批和第5批未通过显著性检验。第1~5批集聚尺度和集聚规模均呈现“升−降−升”的“N”型特征，第6批Diff *K*值在任何尺度均小于0，呈现绝对的空间随机分布。

(3) 国家沙漠(石漠)公园空间上呈现“南疏北密、双核一带”的格局。双核包括2个高密度核心区，一个是以新疆干旱沙区古尔班通古特沙漠为核心，另一个是以湖南溶丘洼地(槽谷)石漠化区为核心。一带指沿长城东西走向断续弧形沙漠带。

(4) 对分异和交互作用最强的6个影响因子进行地理加权回归模型拟合，分析影响因子作用方向和强度的空间差异。各因子在空间上对国家沙漠(石漠)公园分布的作用强度从东南向西北呈现正效应不断提高、负效应持续下降的变化趋势，西北地区受自然地理和人文的作用力最强。自然地理因子方面，气温和降水量起到了显著的负效应，砂土含量起到了显著的正效应。人文因子方面，城镇化率、接待游客人次和星级酒店数量系数均为正，对国家沙漠(石漠)公园分布均起到增强的正效应。在旅游业高质量发展目标下，人文因子对国家沙漠(石漠)公园的空间分布影响的增强正效应表现明显。

3.2 建议

国家沙漠(石漠)公园是建构国家公园体系的重要内容，也是推动生态旅游业高质量发展的重要载体，研究其空间分布及形成机制，为沙漠(石漠)类国家公园体系的空间结构布局优化提供科学的参考价值。

(1) 优化布局、协调发展。国家沙漠(石漠)公园空间分布依旧存在集聚且分布不均的现象，主要集中在干旱、半干旱沙区，交通不畅且距离城市较远。而湿润零星沙区分布较零散，不利于整合优化。国家应加大资金投入和政策支持力度，加强交通网络基础设施建设，优先鼓励国家沙漠(石漠)公园零分布省份(如吉林、黑龙江、山东、河南等省)，以及零分布沙地亚区(如黄淮平原、呼伦贝尔等)的发展，以有效发挥不同地区国家沙漠(石漠)公园在改善当地生态、防沙治沙、促进区域协调发展等方面的积极作用。

(2) 分门别类、精准施策。根据国家沙漠(石漠)公园空间分布的影响因素，可将国家沙漠(石

漠)公园景区划分为自然景观依托型、人文遗址利用型、观光娱乐体验型、休闲度假康乐型4种模式。自然景观依托型模式,根据其资源禀赋和区位优势打造特色鲜明的沙漠(石漠)旅游产品。国家沙漠公园依托沙漠资源优势,打造独具特色的品牌优势,优化旅游产品供给结构。国家石漠公园充分利用独特的喀斯特旅游资源,打造喀斯特旅游品牌,展示岩溶自然风貌。人文遗址利用型模式,利用楼兰古城遗址、尼雅古城遗址、米兰古城遗址等丝绸之路古道人文遗址,挖掘沙漠文化考古旅游重要资源。观光娱乐体验型模式,应使沙漠主题景区的活动项目多元化,除了滑沙、沙漠越野同质化外,增加极限运动、亲子互动、婚纱摄影等内容。休闲度假康乐型模式,应联合周边旅游资源(城市风情、民族文化、历史遗迹等)形成沙漠产业发展集群,并依靠举办赛事活动方式联动发展。开发度假养生旅游产品,满足游客体验生态文化、康体健身以及户外休闲度假等独具沙漠特色的生态旅游需求,推动沙漠旅游产业的提质升级。

(3) 融合人文、科学遴选。目前,申报国家沙漠(石漠)公园的基本条件以基础性支撑作用的自然地理因素为主,涉及地理区位、面积、水资源等,而作为导向性驱动作用的人文因素对国家沙漠(石漠)公园空间分异的增强正效应表现愈加明显,在未来遴选中应重点把城镇化率、接待游客人次和星级酒店数量等人文因素指标作为参考标准,做到择优申报、科学评价、严格遴选,确保国家沙漠(石漠)公园建设取得实效。

(4) 生态优先、绿色发展。国家沙漠(石漠)公园多位于生态脆弱区,而旅游业又是典型的环境依托型产业,若沙漠(石漠)生态环境遭到破坏,旅游业也难以为继,所以必须牢固树立绿水青山就是金山银山的理念,走生态优先、绿色发展之路,提高国家沙漠(石漠)公园的生态功能,筑牢生态安全屏障,使当地旅游相关产业不超过生态环境承载力,沙漠(石漠)生态系统进入良性循环与自然演替,实现人与自然的和谐共生,高质量推进国家公园体系建设。

参考文献(References)

[1] 央视网. 我国实现连续3个监测期荒漠化沙化土地面积双缩减[EB/OL]. [2022-10-03]. http://m.news.cctv.com/2021/06/17/ARTIZSpdNVxBuQuBrvWIbsU4210617.shtml. [CCTV. China has achieved double reduction of desertification land area for three consecutive monitoring periods[EB/OL]. [2022-10-03]. http://m.news.cctv.com/2021/06/17/ARTIZSpdNVxBuQuBrvWIbsU4210617.shtml.]

[2] 中国政府网. 关于印发《国家沙漠公园发展规划(2016—2025年)》的通知[EB/OL]. [2022-10-03]. https://www.gov.cn/xinwen/2016-10/12/content_5117747.htm. [Chinese Government Website. Notice on printing and distributing the National Desert Park Development Plan (2016—2025)[EB/OL]. [2022-10-03]. https://www.gov.cn/xinwen/2016-10/12/content_5117747.htm.]

[3] 段菁. 内蒙古毛乌素苏里格国家沙漠公园建设思路探讨[J]. 林业资源管理, 2015(6): 41-44. [Duan Jing. Discussion about construction ideas of Maowusu Sulige National Desert Park in Inner Mongolia[J]. Forestry Resource Management, 2015(6): 41-44.]

[4] 中国政府网. 国家林草局印发《国家沙漠公园管理办法》[EB/OL]. [2023-03-09]. http://www.gov.cn/xinwen/2023-01/06/content_5735265.htm. [Chinese Government Website. The National Forestry and Grassland Administration issued the measures for the administration of national desert park[EB/OL]. [2023-03-09]. http://www.gov.cn/xinwen/2023-01/06/content_5735265.htm.]

[5] 刘丹一, 朱斌, 邹慧, 等. 沙漠公园建设做法与启示[J]. 林业经济, 2019, 41(2): 89-91. [Liu Danyi, Zhu Bin, Zou Hui, et al. Experiences and enlightenment on desert park development[J]. Forestry Economics, 2019, 41(2): 89-91.]

[6] Braithwaite A. The desert that isn't Little Desert National Park has provided an interesting conservation challenge while juggling the demands of recreation and tourism[J]. Trees and Natural Resources, 1997, 39(4): 14-16.

[7] Hahs A, Enright N J, Thomas I. Plant communities, species richness and their environmental correlates in the sandy heaths of Little Desert National Park, Victoria[J]. Wiley-Blackwell, 1999, 24(3): 249-257.

[8] Enright N J, Miller B P, Akhter R. Desert vegetation and vegetation-environment relationships in Kirthar National Park, Sindh, Pakistan[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 61(3): 397-418.

[9] Enright N J, Miller B P. Livestock grazing impacts on desert vegetation, Khirthar National Park, Pakistan[J]. Rangeland Ecology & Management, 2007, 60(6): 680-684.

[10] Moumni M, Tlili A, Msaddek J, et al. Assessment of desert plant communities under protection: Case of Dghoumes National Park, southern Tunisia[J]. African Journal of Ecology, 2020, 59(2): 528-531.

[11] 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2019(19): 16-21. [The General Office of the Central Committee of the Communist Party of China and the General Office of the State Council issued the Guiding Opinions on the Establishment of a National Park based Natural Reserve System[J]. Bulletin of the State Council of the People's Republic of China, 2019(19): 16-21.]

[12] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[N]. 人民日报, 2021-03-13(1). [The fourteenth five year plan for national economic and social development of the People's Republic of China and the outline of the vision goals for 2035[N]. People's Daily, 2021-03-13(1).]

[13] 朱磊, 李燕楠, 胡静, 等. 国家森林公园空间分布格局及其影响因素研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 389-400. [Zhu Lei, Li Yannan, Hu Jing, et al. Spatial differentiation pattern and influencing factors of China National Forest Park[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 389-400.]

[14] 周婷, 牛安逸, 马姣娇, 等. 国家湿地公园时空格局特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34(1): 26-39. [Zhou Ting, Niu Anyi, Ma Jiaojiao, et al. Spatio-temporal pattern of national wetland parks[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(1): 26-39.]

[15] 何小芊, 王晓伟, 熊国保, 等. 中国国家地质公园空间分布及其演化研究[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(6): 86-91. [He Xiaoqian, Wang Xiaowei, Xiong Guobao, et al. Study on the spatial distribution and its evolution of national geoparks in China[J]. Areal Research and Development, 2014, 33(6): 86-91.]

[16] 吴艳茹, 周瑞平. 鄂尔多斯沙漠公园开发的基本思路[J]. 内蒙古师范大学学报(哲学社会科学版), 2005, 34(2): 106-109. [Wu Yanru, Zhou Ruiping. Basic thinking as to developing Ordos Desert Park[J]. Journal of Inner Mongolia Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2005, 34(2): 106-109.]

[17] 张宏巍, 孔祥吉, 卓凌, 等. 荒漠化防治视角下的自然公园规划设计策略研究——以杭锦后旗为例[J].干旱区资源与环境, 2020, 34(10): 147-152. [Zhang Hongwei, Kong Xiangji, Zhuo Ling, et al. Natural park planning and design strategy from the perspective of desertification control[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020, 34(10): 147-152.]

[18] 杨超. 大青沟国家沙漠公园生态旅游承载能力研究[J]. 辽宁林业科技, 2016(4): 14-16. [Yang Chao. Ecotourism bearing capacity of Daqinggou National Desert Park[J]. Liaoning Forestry Science and Technology, 2016(4): 14-16.]

[19] 赵红霞, 张秀卿. 基于直觉模糊多属性决策方法的沙漠公园旅游环境影响评价指标体系构建初探[J]. 林业经济问题, 2017, 37(2): 55-60, 106. [Zhao Hongxia, Zhang Xiuqing. Building index system of tourism environmental impact assessment in the desert park based on intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making method[J]. Issues of Forestry Economics, 2017, 37(2): 55-60, 106.]

[20] 吴协保, 刘伟, 黄俊威, 等. 湖南省国家石漠公园发展现状及空间分布特征[J]. 中南林业调查规划, 2020, 39(2): 62-66. [Wu Xiebao, Liu Wei, Huang Junwei, et al. Development status-que and spacial distribution feature of national rock desert park in Hunan Province[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2020, 39(2): 62-66.]

[21] 尹郑刚. 我国沙漠旅游研究的现状与展望[J]. 内蒙古社会科学, 2010, 31(5): 115-119. [Yin Zhenggang. Present situation and prospect of desert tourism research in China[J]. Inner Mongolia Social Sciences, 2010, 31(5): 115-119.]

[22] 王洪桥, 袁家冬, 孟祥君. 东北地区A级旅游景区空间分布特征及影响因素[J]. 地理科学, 2017, 37(6): 895-903. [Wang Hongqiao, Yuan Jiadong, Meng Xiangjun. Spatial distribution and its influencing factors of level-A scenic spots in northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(6): 895-903.]

[23] Ripley B D. Modelling spatial patterns[J]. Journal of the Royal Statistical Society B, 1977, 39(2): 172-212.

[24] 高凯, 周志翔, 杨玉萍, 等. 基于Ripley *K*函数的武汉市景观格局特征及其变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2621-2626. [Gao Kai, Zhou Zhixiang, Yang Yuping, et al. Characteristics and changes of landscape pattern in Wuhan City based on Ripley's *K* function[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2621-2626.]

[25] 程乾, 凌素培. 中国非物质文化遗产的空间分布特征及影响因素分析[J]. 地理科学, 2013, 33(10): 1166-1172. [Cheng Qian, Ling Supei. Geographical distribution and affecting factors of the intangible cultural heritage in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(10): 1166-1172.]

[26] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]

[27] Brunsdon C, Fotheringham A S, Charlton M E. Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity [J]. Geographical Analysis, 1996, 28(4): 281-298.

[28] 汤庆园, 徐伟, 艾福利. 基于地理加权回归的上海市房价空间分异及其影响因子研究[J]. 经济地理, 2012, 32(2): 52-58. [Tang Qingyuan, Xu Wei, Ai Foley. A GWR-based study on spatial pattern and structural determinants of Shanghai's housing price[J]. Economic Geography, 2012, 32(2): 52-58.]

[29] 杨利, 石彩霞, 谢炳庚. 长江流域国家湿地公园时空演变特征及其驱动因素[J]. 经济地理, 2019, 39(11): 194-202. [Yang Li, Shi Caixia, Xie Binggeng. Temporal and spatial pattern evolution characteristics and driving factors of National Wetland Parks in the Yangtze River Basin[J]. Economic Geography, 2019, 39(11): 194-202.]

[30] 张海霞, 张旭亮. 自然遗产地国家公园模式发展的影响因素与空间扩散[J]. 自然资源学报, 2012, 27(4): 705-712. [Zhang Haixia, Zhang Xuliang. Driving factors and spatial diffusion for the development of national park model for natural heritage sites[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(4): 705-712.]

[31] 杨利, 李玉婷. 湖南省国家湿地公园空间分异及影响因素研究[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2019, 13(5): 99-106. [Yang Li, Li Yuting. Research on spatial differentiation and influencing factors of Hunan National Wetland Park[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences Edition), 2019, 13(5): 99-106.]

[32] 赵芮, 赵恒, 丁志伟. 基于网络关注度的中国沙漠型A级景区空间格局及其影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2022, 42(5): 101−113. [Zhao Rui, Zhao Heng, Ding Zhiwei. Analysis on spatial pattern and influencing factors of A-level desert scenic spots in China based on network attention[J]. Journal of Desert Research, 2022, 42(5): 101−113.]

[33] 党晓宏, 李小乐, 刘静, 等. 中国沙漠旅游资源开发利用现状及发展前景[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(7): 194−201. [Dang Xiaohong, Li Xiaole, Liu Jing, et al. Current situation and prospects of development and utilization of desert tourism resources in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(7): 194−201.]

[34] 王艳茹, 李陇堂, 张冠乐, 等. 中国沙漠旅游研究现状及展望[J]. 中国沙漠, 2016, 36(2): 533−539. [Wang Yanru, Li Longtang, Zhang Guanle, et al. Progress and prospects of desert tourism research in China[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(2): 533−539.]

[35] 董光荣, 靳鹤龄, 王贵勇, 等. 中国沙漠形成演化与气候变化研究[J]. 中国科学院院刊, 1999(4): 276−280. [Dong Guangrong, Jin Heling, Wang Guiyong, et al. Research on desert formation and evolution and climate change in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 1999(4): 276−280.]

[36] 黄耀丽, 李凡, 郑坚强. "旅游体验"视角下的特色旅游开发与管理问题探讨——以我国北方沙漠旅游为例[J]. 人文地理, 2006, 21(4): 94−97. [Huang Yaoli, Li Fan, Zheng Jianqiang. The development and management research of feature tourism under the angle of view of "traveling experience": A case study of desert tourism in northern China[J]. Human Geography, 2006, 21(4): 94−97.]

Spatial differentiation pattern and influencing factors of national desert (rocky desert) parks

MU Shilei[1], YANG Yuhuan[2], Wuritaoketaohu[1]

(1. College of Ethnology and Anthropology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, Inner Mongolia, China;
2. College of Urban and Environmental Sciences, Northwestern University, Xi'an 710127, Shaanxi, China)

Abstract: This study is based on the data from 125 national desert (rocky desert) parks published by the National Forestry and Grassland Administration. The spatial differentiation characteristics and factors influencing the national desert (rocky desert) parks were detected using spatial analysis, geographic detector, and a geographically weighted regression. The results revealed the following: (1) The distribution of the national desert (rocky desert) parks is "more in the north and less in the south" and the construction sequence is "first in the north and then in the south". (2) The nearest neighbor index of the national desert (rocky desert) parks is 0.537, showing significant agglomeration distribution characteristics, but the agglomeration degree and scale are significantly different. (3) The national desert (rocky desert) parks show a pattern of "sparse in the south and dense in the north and dual-core belt" in space, with substantial spatial differentiation characteristics. (4) Physical geographic factors have stronger explanatory power than human factors for spatial differentiation of the national desert (rocky desert) parks, and the interaction effect between the physical geographical factors and the human factors is significantly stronger than the interaction of their internal factors. (5) The effects of the six factors with the strongest explanatory power on the spatial differentiation of national desert (rocky desert) parks showed a trend of increasing positive effect and decreasing negative effect from southeast to northwest, and the northwestern region was the strongest influenced by natural geography and human factors.

Key words: spatial differentiation; geographic detector; geographically weighted regression; national desert (rocky desert) park